

VIA HAND DELIVERY  
PATENT  
36856.1106

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: <b>Takenori SEKIJIMA et al.</b> Serial No.: Currently unknown Filing Date: Concurrently herewith For: <b>PHOTOMAGNETIC FIELD SENSOR</b>	
---	--

**TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENTS**

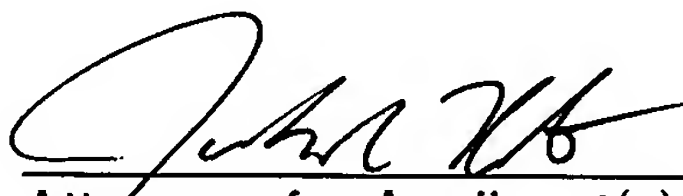
Mail Stop PATENT APPLICATION  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Enclosed herewith is a certified copy of each of Japanese Patent Application No. **2002-275989** filed **September 20, 2002**, from which priority is claimed under 35 U.S.C. 119 and Rule 55b. Acknowledgement of the priority document is respectfully requested to ensure that the subject information appears on the printed patent.

Respectfully submitted,

Date: August 18, 2003

  
Attorneys for Applicant(s)  
Joseph R. Keating  
Registration No. 37,368

Christopher A. Bennett  
Registration No. 46,710

KEATING & BENNETT LLP  
10400 Eaton Place, Suite 312  
Fairfax, VA 22030  
Telephone: (703) 385-5200

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 9月20日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-275989

[ST.10/C]:

[JP2002-275989]

出 願 人

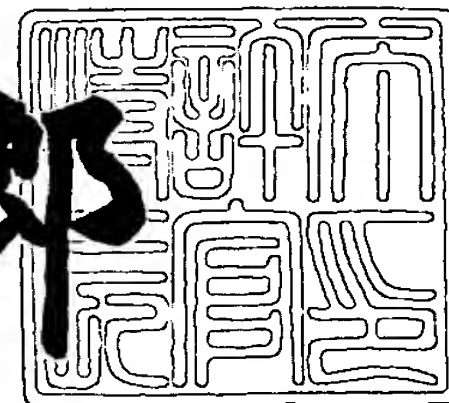
Applicant(s):

株式会社村田製作所

2003年 7月 3日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3052837

【書類名】 特許願

【整理番号】 32-0839

【提出日】 平成14年 9月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01R 33/032  
G02B 6/12  
G02F 1/09

【発明者】

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式会社村田製作所内

【氏名】 関島 雄徳

【発明者】

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式会社村田製作所内

【氏名】 下方 幹生

【発明者】

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式会社村田製作所内

【氏名】 藤井 高志

【特許出願人】

【識別番号】 000006231

【住所又は居所】 京都府長岡京市天神二丁目26番10号

【氏名又は名称】 株式会社村田製作所

【代表者】 村田 泰隆

【電話番号】 075-955-6731

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 005304

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光磁界センサ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 常磁性体からなるファラデー回転子と、偏光子と、検光子と、光照射手段と、光感知手段とを具備する光磁界センサであって、

前記常磁性体からなるファラデー回転子が少なくとも T b と A 1 とを含む常磁性体ガーネット単結晶からなることを特徴とする光磁界センサ。

【請求項 2】 常磁性体からなるファラデー回転子と、偏光子と、検光子と、光照射手段と、光感知手段とを具備する光磁界センサであって、前記常磁性体からなるファラデー回転子が円柱状であり、前記ファラデー回転子の円柱の直径 (mm) を A、ファラデー回転子の一端面から他端面までの距離 (mm) を B としたとき、 $0 < A \leq 2$  かつ  $1 \leq B / A \leq 10$  であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光磁界センサ。

【請求項 3】 前記常磁性体からなるファラデー回転子が、少なくとも T b と、A 1 とを含む常磁性ガーネット単結晶であって、前記 T b の一部が P r 及び C e の少なくとも一方で置換されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の光磁界センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【従来の技術】

近年、電力分野において、落雷等による送電線の異常電流検知用センサとして、磁気光学材料を用いた光磁界センサが注目されている。これは送電線周囲に発生する磁界を、磁気光学効果の一種であるファラデー効果を用いて検知するものあり、磁界の大きさによって、ファラデー回転子のファラデー回転角が変化することを利用するものである。以下に具体的に説明する。一般的にファラデー効果を有するファラデー回転子に対してレーザー光を照射し、レーザー光の進行方向と同一方向に磁界が発生すると、磁界の強度に比例して入射したレーザー光の偏光面が回転することが知られている。このような性質を利用し、光の進行方向に

沿ってファラデー回転子の前後に、異なる偏光面を有する偏光子を設けることによって、一方の偏光子を介してファラデー回転子に入射したレーザー光の光量と、ファラデー回転子を通過し、他方の偏光子を出射するレーザー光の光量に差が生じることになる。この光量の差をフォトディテクタ等の光感知手段にて検知することによって、異常電流の大きさを検知することが可能となる。

## 【 0 0 0 2 】

このようなファラデー効果を利用した光磁界センサは、高感度であり、かつ小型・軽量化が可能であるほかに、光を媒体とするため防爆性に優れ、遠隔操作も可能である。さらに、光の伝搬に光ファイバを用いているため、耐電磁誘導、雑音性、及び絶縁性に優れており、電気式磁界センサにはない優れた特徴を有している。

## 【 0 0 0 3 】

上記のような光磁界センサに用いられるファラデー回転子の磁性材料の特性として、ヴェルデ定数 ( $V : (deg / (Oe \cdot cm))$ ) が大きいことが求められている。ヴェルデ定数とは単位長さ単位印加磁場あたりのファラデー回転角を意味し、偏光した光の回転角度を示すファラデー回転角 ( $\theta$ )、ファラデー回転子を通る光の移動距離 ( $d$ )、及びファラデー回転子にかかる磁界強度 ( $H$ ) から、 $\theta = V H d$  の関係で表される。このことから、ヴェルデ定数が大きいほど、ファラデー回転角が大きくなる。その結果、磁場強度の変化により、磁場のかかるファラデー回転角の変化する割合も大きくなるため、レーザー光の入射光と出射光の光量の差が大きくなり、より高感度の光磁界センサを得ることが可能となる。

## 【 0 0 0 4 】

このような特性を示す磁性体材料として、特開平 5 - 7 2 3 0 7 号公報に示されるような強磁性体のイットリウム鉄ガーネット ( $Y_3Fe_5O_{12}$  : 以下 Y I G と略す) の単結晶が用いられていた。Y I G 単結晶はヴェルデ定数が  $1.5 \times 10^{-1} deg / (Oe \cdot cm)$  と大きく、高感度な光磁界センサを実現できるという利点があった。

## 【 0 0 0 5 】

## 【特許文献 1】

特開平 5 - 7 2 3 0 7 号公報 (3 頁 ~ 4 頁)

【 0 0 0 6 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特開平 5 - 7 2 3 0 7 号公報に記載される Y I G 単結晶は、ある磁場強度まではファラデー回転角が大きくなるが、ある磁場強度を過ぎるとファラデー回転角が一定になり磁気飽和するという問題があった。このため、大電流を検知する光磁界センサのファラデー回転子として用いた場合、正確な電流検知を行うことができないという問題を有していた。また、Y I G 単結晶は、光の波長領域が 1 1 0 0 n m ~ 5 0 0 0 n m の赤外線領域の光しか透過できず、6 5 0 n m という可視光域のプラスチックファイバを用いることができないため莫大なコストがかかるという問題があった。

【 0 0 0 7 】

本発明の目的は、上述の問題点を解決するべくなされたもので、大電流領域、すなわち磁界強度の高い領域においても、感度が高く、5 0 0 ~ 6 5 0 n m といった可視光領域の波長を有する光を用いても感知可能な光磁界センサを提供することにある。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本願第 1 の発明の光磁界センサは、常磁性体からなるファラデー回転子と、偏光子と、検光子と、光照射手段と、光感知手段とを具備する光磁界センサであって、前記常磁性体からなるファラデー回転子が少なくとも T b と A l とを含む常磁性体ガーネット単結晶からなることを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

本発明者らは、ヴェルデ定数が高く、ファラデー回転角が飽和しない上に、5 0 0 ~ 6 5 0 n m という可視光領域の波長を透過可能なファラデー回転子として、T b と A l とを含むテルビウム・アルミニウム系常磁性体ガーネット (T b <sub>3</sub> A l <sub>5</sub> O <sub>12</sub> ; 以下、T A G と略す) が適していることを見出し、この T A G 単結晶を光磁界センサのファラデー回転子として用いることを可能としたのである。



より具体的に説明すると、そもそもTAG単結晶は分解溶融型化合物であるため、出発原料を溶融した溶融組成から、直接ガーネット相であるTAG単結晶を得られず、TAG単結晶のほかにペロブスカイト相の $TbAlO_3$ が混在してしまうという問題を有していた。しかし、本発明者らは鋭意検討した結果、 $CO_2$ ガスレーザーを用いて、融帯に強力な光エネルギーを与えることにより、光磁界センサに適したTAG単結晶を得ることに成功したのである。このようなTAG単結晶をファラデー回転子とした光磁界センサを用いることによって、ファラデー回転角が飽和せず、大電流においても感度が高く、かつ500～650nmという可視光領域の波長を有する光を用いても感知可能な光磁界センサを得ることができる。

#### 【0010】

また、本願第2の発明の光磁界センサは、常磁性体からなるファラデー回転子と、偏光子と、検光子と、光照射手段と、光感知手段とを具備する光磁界センサであって、前記常磁性体からなるファラデー回転子が円柱状であり、前記ファラデー回転子の円柱の直径をA、ファラデー回転子の一端面から他端面までの距離をBとした時、 $0 < A \leq 2$ かつ $1 \leq B/A \leq 10$ であることが好ましい。このような形状のファラデー回転子を用いることによって、ファラデー回転子の一端面から他端面までの長さ、すなわちファラデー回転子を通る光の移動距離が大きくなるため、ファラデー回転子のファラデー回転角を大きくすることができる。これにより、さらに高感度な光磁界センサを得ることができる。また、ファラデー回転子の一端面から他端面までの距離が大きい方が、ファラデー回転子内における反磁界を小さくすることができる。すなわち、ファラデー回転子は磁性体であるため、ファラデー回転子に外部から磁化が印加されると、ファラデー回転子内には外部磁界とは逆方向に磁界（反磁界）が生じる。すると、実際には外部磁界から反磁界を差し引いた磁界分を検知することになり感度が悪くなるという問題が生じる。そこで、第2の発明のようにファラデー回転子の一方の端面から他方の端面までの距離を大きくすることによって、ファラデー回転子内に生じる反磁界の影響を抑制することができる。

#### 【0011】



また、本願第 3 の発明の光磁界センサは、前記ファラデー回転子が、少なくとも T b と、A l と、C e 及び P r の少なくとも一方と、を含む常磁性ガーネット単結晶からなることが好ましい。このようなファラデー回転子を用いた場合、ヴェルデ定数がより大きくなるため、さらにファラデー回転角を大きくすることができる。その結果、より高感度な光磁界センサを得ることができる。

#### 【 0 0 1 2 】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の光磁界センサの一実施形態について図 1 を用いて説明する。なお、ここでいう光軸とは光の伝搬路を説明するための一般的な意味で用いられる。また、ここでいう入射とは、光源から照射された光が最初に光磁界センサに入る向きを示し、出射とはその光が光磁界センサから出てくる向きを示す。図 1 は本発明の光磁界センサの概略構成図を示している。この光磁界センサ 1 は、ファラデー回転子 2 と偏光子 3 と検光子 4 と光照射手段 5、光感知手段 6 とを具備している。

#### 【 0 0 1 3 】

ここで、ファラデー回転子 2 の入射側に偏光子 3 を設け、ファラデー回転子 2 の出射側に検光子 4 が光軸方向に並列に配置され、偏光子 3 及び検光子 4 は、ファラデー回転子 2 を通る光軸がその偏光面を通過するよう、それぞれの偏光面が光軸に対して垂直となるように設けられている。また、光照射手段 5 は偏光子 3 に光を入射できる位置に設けられていればよい。すなわち、光照射手段 5 は必ずしもファラデー回転子 2 を通る光軸に沿って設けられる必要がなく、例えば光照射手段 5 と偏光子 3 との間に全反射ミラー 7 a を設けることによって光を反射させてその光路を変えることも可能である。このように光照射手段 5 と偏光子 3 との間に全反射ミラー 7 a を設けることで、光磁界センサ 1 としては小型化が可能となる。また、光照射手段 5 と偏光子 3 との間に設けられる全反射ミラー 7 a と同様の理由で、検光子 4 と光感知手段 6 との間に全反射ミラー 7 b を設けてもよい。さらに、全反射ミラー 7 a と偏光子 3、及び全反射ミラー 7 b と検光子 4 との間に、それぞれ集光レンズ 8 a 及び 8 b を設けることが可能である。この場合、集光レンズ 8 a を設けることによって、ファラデー回転子 2 に効率良く光を入

射させることができる。また、集光レンズ 8 b を設けることによって、光感知手段 6 に効率良く光を送ることができる。

#### 【 0 0 1 4 】

ここで用いられるファラデー回転子 2 は、少なくとも T b と A l とを含むテルビウム・アルミニウム系常磁性ガーネット単結晶からなる。具体的には、 $Tb_3Al_5O_{12}$ 、または  $Tb_3Al_5O_{12}$  の T b サイトを C e、P r、D y、H o、E r、及び T m 等の希土類元素で置換したものを用いてもよいが、ヴェルデ定数が大きく、400～650nm という可視光領域においても好適な光透過率を得るには  $Tb_3Al_5O_{12}$  が好ましい。さらに好ましくは、C e 及び P r の少なくともいずれか一方を T A G 単結晶の T b サイトに置換したものが好ましい。この場合、近紫外光域にファラデー効果増大に寄与する吸収端が存在するという理由でヴェルデ定数が大きくなることがわかった。これにより、ファラデー回転角が大きくなるため、光磁界センサ 1 の感度を高めることができる。

#### 【 0 0 1 5 】

また、ファラデー回転子 2 の形状は、例えば棒状、薄板状、及び薄膜状等の形状を用いることができるが、中でも円柱状であることが好ましい。これは得られた単結晶の形状が円柱状であるため、加工が容易であり、かつ電流によって生じた磁場がファラデー回転子 2 内に均一にかかりやすいためである。

#### 【 0 0 1 6 】

また、ファラデー回転子 2 のサイズは、目的とするセンサの種類や、ファラデー回転子 2 となる T A G 系単結晶のヴェルデ定数をもとに設定すればよいが、ファラデー回転子 2 の円柱の直径を A mm、ファラデー回転子 2 の一端面から他端面までの距離を B mm とした時、 $0 < A \leq 2$  かつ  $1 \leq B/A \leq 10$  であることが好ましい。なお、ここでいうファラデー回転子 2 の端面とは、ファラデー回転子 2 の光軸に対して垂直な面であり、光が入射及び出射する面を示す。このような構成にすることで、ファラデー回転角を大きくすることができ、光磁界センサ 1 としての感度を高めることができる。なお、A が 2 よりも大きいと、外部磁界がファラデー回転子 2 内に均一に印加されないという問題が生じる。また、B/A が 1 よりも小さいと、ファラデー回転子 2 の一端面から他端面までの距離が短く

、反磁界が大きくなるため好ましくない。また、 $B/A$ が10よりも大きい場合、ファラデー回転子2を移動する光の距離が長くなり、光透過率が低下するため好ましくない。

## 【0017】

また、本発明の偏光子3、及び検光子4の各入出射面が、ファラデー回転子2を通過する光軸に対して垂直となり、かつ光軸方向に沿ってファラデー回転子2の前後に設けられている。そして、偏光子3の偏光面と、検光子4の偏光面とが $45^\circ$ の角度をなすように配置されていることが好ましい。この関係を図3を用いて説明する。図3の横軸は偏光子3と検光子4とがなす角度を示し、縦軸が検光子4から出射される光量を示す。この曲線の各角度における接線を引いたとき、その接線の傾きが光量の透過率を示すが、図3より $45^\circ$ の角度の時に一番効率よく磁場変動を透過可能な光量に変換できることがわかる。また、偏光子3及び検光子4として、延伸ポリマー、もしくはルチル及び方解石( $\text{CaCO}_3$ )等からなる単結晶偏光子等を用いることができる。また、細い金属製ワイヤを複数個用意し、隣合う各ワイヤが一定方向に平行となるように並べて板状にしたものを用いることもできる。

## 【0018】

また、光照射手段5として、ルビーレーザー、He-Neレーザー、Arレーザー、He-Cdレーザー、InGaN半導体レーザー等を用いることができるが、これに限るものではない。この中でもHe-Neレーザーは波長が633nmと可視光域に対応でき、プラスチックファイバの波長領域に近いので、より好適に用いられる。また、光感知手段6として、フォトディテクタを用いることが好ましい。その他にもSi、InGaAs等の受光素子を用いることができるがこれに限るものではない。

## 【0019】

また、本発明の全反射ミラー7a及び7bは、その反射面が入射光、かつファラデー回転子2の光軸に対して $45^\circ$ の角度で配置されることが好ましい。このような構成にすることによって、例えば光源がファラデー回転子2の光軸方向に沿って設けられていなくても、入射した光が漏れなくファラデー回転子2の中心に

向かって入射され、より正確な磁場強度の感知が可能となる。なお、全反射ミラー 7 a 及び 7 b として A 1、A u 等を用いることが好ましく、その中でも A 1 が好ましい。A 1 は可視光に対して反射率が最も高い材料であるため、光エネルギーの損失を極力小さくできる。

#### 【 0 0 2 0 】

また、本発明の集光レンズ 8 a はビームウェストがファラデー回転子 2 の中心を通るように、調整されて配置されている。これは入射する光がファラデー回転子 2 に最も効率よく入射できるようにするためである。集光レンズ 8 a 及び 8 b としては、両凸レンズ、ボールレンズ等を用いることができるが、これに限るものではない。

#### 【 0 0 2 1 】

ここで、ファラデー回転子の側部に磁場を発生させる永久磁石を取り付けた羽根車が配置されていると仮定し、磁場がファラデー回転子の光軸に対して平行 T に印加されている場合の上記光磁界センサの作用を説明する。まず、光照射手段 5 から照射された光は、全反射ミラー 7 a において、反射された光がファラデー回転子 2 を通る光軸と平行となるように 90° 反射される。そして、反射された光は集光レンズ 8 b により集光され、偏光子 3 を介して偏光子 3 と同じ偏光面を有する光が、ファラデー回転子 2 に入射される。ここで、ファラデー回転子 2 の中心を通る光軸と平行となるように、磁界が印加されている。これにより、入射された光の偏光面はファラデー効果によりファラデー回転子 2 の中で光の進行方向に対して、ファラデー回転角の大きさほど回転する。そして、ファラデー回転子 2 を出射した光は、検光子 4 を介して検光子 4 と同じ偏光面を有する光だけ出射されることになる。検光子 4 を出射した光は集光レンズ 8 b を介して光の幅を広げていき、その光線を全反射ミラー 7 b において、光軸に対して 90° 反射される。さらに反射した光は感知手段 6 において、その光量を感知されることになる。

#### 【 0 0 2 2 】

また、以下に本発明の光磁界センサの別の実施形態について図 2 を用いて説明する。図 2 は本発明の別の光磁界センサの概略構成図を示している。この光磁界

センサ 1 1 は、ファラデー回転子 1 2 と偏光子 1 3 と光照射手段 1 5 と光感知手段 1 6 と全反射ミラー 1 7 と集光レンズ 1 8 と偏光プリズム 1 9 とから構成されている。ここではファラデー回転子 1 2 のうち、光が入射する一端面に偏光子 1 3 が並設されており、他端面に全反射ミラー 1 7 が蒸着されている。そして光照射手段 1 5 からファラデー回転子 1 2 までの間に、光軸方向に沿って偏光プリズム 1 9 と集光レンズ 1 8 とが配置されている。このような構成にすることにより、図 1 で示す一つの実施の形態よりも、構成数を少なくすることができ、より小型の光磁界センサ 1 1 を提供することができる。

#### 【 0 0 2 3 】

この場合のファラデー回転子 1 2、偏光子 1 3、全反射ミラー 1 7、及び集光レンズ 1 8 は図 1 に示す一実施の形態と同様のものを用いることができる。また、ここにおける偏光プリズム 1 9 は、入射してきた入射光に対しては直進するが、全反射ミラー 1 7 によって反射してきた反射光は入射光に対して直角方向に反射させるように配置される。このように配置することで、入射光と反射光とを分離することができ、正確な光量を測定できる。偏光プリズム 1 9 としては方解石等を用いることができる。

#### 【 0 0 2 4 】

ここで、図 2 で示される別の実施形態である光磁界センサ 1 1 の作用を具体的に説明する。なお、ファラデー回転子の側部に磁場を生じさせる永久磁石付き羽根車が配置されていると仮定し、磁場がファラデー回転子の光軸に対して平行に印加されている場合の図 2 に示す光磁界センサの作用を具体的に説明する。ここで光照射手段 1 5 から照射された光は、まず偏光プリズム 1 9 を通過する。ここで光は光軸に平行な方向に通過する。そして、偏光プリズム 1 9 を通過した光は集光レンズ 1 8 を介して集光され、偏光子 1 3 が併設されたファラデー回転子 1 2 に入射する。ここで偏光子 1 3 と同じ偏光面を有する光が通過する。そして、ファラデー回転子 1 2 のなかで、ファラデー効果によりその偏光面をファラデー回転角の大きさ分だけ回転されることになる。この回転された偏光面を有する光が、ファラデー回転子 1 2 の他端面に形成された全反射ミラー 1 7 によって 1 8 0° 反射され、ファラデー回転子 1 2 を再度通過することになる。ここで反射光



は、入射光とは逆向きに磁界を感じファラデー効果の非相反性により、さらに入射光の光軸に対してファラデー回転角の大きさ分だけ偏光面が回転されることになる。そして偏光子 1 3 を介し、偏光子 1 3 と同じ偏光面を有する反射光が出射される。そして偏光子 1 3 から出射された反射光は、再度集光レンズ 1 8 を介して光線幅を広げながら直線光となり、偏光プリズム 1 9 に入射する。ここで、偏光プリズム 1 9 に入射した反射光は光軸方向に対して直角方向に反射され、光感知手段 1 6 により光量を検知される。

## 【 0 0 2 5 】

## (実施例 1)

以下、本願発明の一実施の形態をより具体的に説明する。

## 1. TAG 単結晶の作製

まず、常磁性ガーネット多結晶の出発原料として、 $Tb_4O_7$  (純度 99.9%) 及び  $Al_2O_3$  (純度 99.99%) を用意し  $Tb_3Al_5O_{12}$  となるように秤量する。この混合量、及び組成比は、所望のヴェルデ定数に合わせて適宜変更することができる。次に調合した出発原料の混合粉末に純水を加えて玉石とともに約 24 時間混合し、混合された混合粉末を脱水した後に乾燥機で乾燥させる。そして乾燥された混合粉末をメッシュに通して混合粉末の粒度を調整し、電気炉を用いて  $1200^{\circ}C$  で 2 時間の仮焼を行う。この仮焼して得られた混合粉末を粉砕した後、混合粉末に有機バインダ及び溶剤を加えて玉石とともに数時間混合した後、スラリー状の混合物を得る。この混合物を成形機で円柱状に成形した後、電気炉において  $1600^{\circ}C$  2 時間で焼成し、円柱状の TAG 多結晶体を得る。次に、得られた円柱状の TAG 多結晶体と種結晶として TAG 単結晶とを用意して、 $CO_2$  レーザー FZ (Floating Zone) 装置に設置し、大気中雰囲気において  $CO_2$  レーザー光を照射して TAG 多結晶体の端部を加熱し溶融させ、TAG 多結晶体の溶融部分と種結晶の端部とを接合させる。続いて、TAG 多結晶体の端部と種結晶の端部との接合部において  $CO_2$  レーザー光を照射するとともに、TAG 多結晶体をさらに加熱溶融させて溶融物を得、冷却させることにより、TAG 単結晶を得られる。

## 【 0 0 2 6 】

## 2. 光磁気センサの作製

次に上記のようにして得られたファラデー回転子の長さ 1 mm、かつ断面の直径が 1 mm の円柱状に加工した。ここで、ファラデー回転子の直径に対する一端面から他端面までの長さは ( $B/A$ ) は 1 であった。次に、ルチルからなる偏光子及び検光子と、合成石英からなる集光レンズを 2 つ用意し、光の入射方向から順に集光レンズ、偏光子、ファラデー回転子、検光子、及び集光レンズとなるように、光軸方向に沿って配置した。光照射手段と集光レンズとの間、及び光感知手段となるフォトディテクタと集光レンズとの間に全反射ミラーを設け、光照射手段から照射された光が全反射ミラーにおいて  $90^\circ$  反射され、反射された光がファラデー回転子と平行となるような位置に光照射手段を設けた。また、ファラデー回転子から出射された光が全反射ミラーによって  $90^\circ$  反射する位置に光感知手段を設けた。このように図 1 に示される構成を有する光磁界センサを実施例 1 とした。

### 【 0 0 2 7 】

また、上記のような構成の実施例 1 以外に、以下のような実施例 2、3、及び比較例 1～3 の光磁界センサを作製した。

#### (実施例 2)

ファラデー回転子として  $(\text{Tb}_{2.8}\text{Ce}_{0.2})\text{Al}_5\text{O}_{12}$  で表される TAG 系単結晶を用いた以外は実施例 1 と同様の構成の光磁界センサを作製し、これを実施例 2 とした。(なお、Tb の一部を Ce で置換した TAG 系単結晶は可視光域が  $525 \sim 680 \text{ nm}$  に適したものである。)

#### (実施例 3)

ファラデー回転子として  $(\text{Tb}_{2.8}\text{Pr}_{0.2})\text{Al}_5\text{O}_{12}$  で表される TAG 系単結晶を用いた以外は実施例 1 と同様の構成の光磁界センサを作製し、これを実施例 3 とした。

#### (比較例 1)

ファラデー回転子として  $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$  単結晶を用いた以外は実施例 1 と同様の構成の光磁界センサを作成し、これを比較例 1 とした。

#### (比較例 2)



ファラデー回転子としてファラデーガラスを用いた以外は実施例 1 と同様の構成の光磁界センサを作成し、これを比較例 2 とした。

(比較例 3)

ファラデー回転子として  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  で表される単結晶を用いた以外は実施例 1 と同様の構成の光磁界センサを作成し、これを比較例 3 とした。

上記のようにして得られた実施例 1 ～ 3、及び比較例 1 ～ 3 について、以下のような特性評価を行った。

まず、実施例 1 ～ 3、及び比較例 1 ～ 3 において用いられたファラデー回転子のヴェルデ定数を測定した。各長さ ( $t$ ) が 1 mm のファラデー回転子に磁場 ( $H$ ) を 1 kOe 印加しながら、ランプコート分光器を用いて波長領域が 400 ～ 680 nm のレーザー光をファラデー回転子に照射した。このレーザー光に平行となるように磁場を印加しながら、出射されたファラデー回転角 ( $\theta$ ) を測定し、 $V = \theta / (t \times H)$  の式に代入してヴェルデ定数を求めた。その結果を表 1 に示す。

#### 【 0 0 2 8 】

次に、実施例 1 ～ 3、及び比較例 1 ～ 3 のそれぞれの光磁界センサについて磁場変動を測定した。まず、各光磁界センサのファラデー回転子の側部に、先端に磁石を有する羽根車を設置し、この羽根車をモータにより回転させることによって、磁場の変動を生じさせた。このときの磁場変動を図 4 に示す。そして、He-Ne レーザ (波長が 633 nm) を用いて各光磁界センサのレーザー光を照射した。このとき、磁場変動に合わせてファラデー回転子から出射される光量の変化を、フォトディテクタを用いて測定した。このときの光量の変化を、実施例 1 ～ 3、及び比較例 1 ～ 3 の順に図 5 ～ 図 10 に示す。

#### 【 0 0 2 9 】

【表 1】

波長 (nm)	ヴェルデ定数 $V(d_{gr} \cdot 10^{-1} \cdot cm^{-1})$					
	実施例1	実施例2	実施例3	比較例1	比較例2	比較例3
400	0.035	—	0.018	—	0.017	0.026
405	0.033	—	0.016	—	0.016	0.023
410	0.032	—	0.032	—	0.015	0.022
420	0.030	—	0.031	—	0.014	0.021
525	0.022	0.025	0.027	—	0.011	0.016
575	0.018	0.021	0.023	—	0.009	0.013
633	0.010	0.012	0.014	—	0.005	0.007
680	0.008	0.009	0.010	—	0.004	0.006

## 【0 0 3 0】

表 1 から、実施例 1 ～ 3 については 5 2 5 ～ 6 8 0 nm という可視光領域において、高いヴェルデ定数を有していることがわかる。特に、TAG 単結晶の Tb サイトに Ce、もしくは Pr を置換した、実施例 2 及び実施例 3 はヴェルデ定数が高くなっていることがわかる。また、実施例 1 及び実施例 3 については、4 0 0 ～ 5 0 0 nm という可視光領域の光にも十分に対応できることが明らかである。一方、比較例 1 は、ファラデー回転子に 4 0 0 ～ 6 5 0 nm の光を照射しても、YIG 単結晶が光を吸収してしまい、ファラデー回転角を測定することができなかった。また、比較例 2 は実施例 1 の約 1 / 2、比較例 3 は実施例 1 の約 7 0 % のヴェルデ定数しか得られなかった。

## 【0 0 3 1】

また、磁場変動を示す図 4、及び実施例 1 の光磁界センサが感知する光量を示す図 5 において、ファラデー回転子にかかる磁化変動を示す曲線と、フォトディテクタが感知する光量を示す曲線とが同じ波形を示すことがわかる。このことから、磁場変動を漏れなく光量に変換していることがわかる。また、実施例 1 はヴェルデ定数が大きく、光量の差も大きいため、光磁界センサとして感度が高いことがわかる。また、実施例 2 を示す図 6 及び実施例 3 を示す図 7 も実施例 1 と同様に光量の差が大きく、光磁界センサとして感度が高いことがわかる。一方、比較例 1 を示す図 8 は、磁場の大きさが 3 5 0 0 e を超えると、磁気飽和に達するためファラデー回転角が一定になり、3 5 0 0 e 以上の磁場の大きさになると光量も一定になる。また、比較例 2 を示す図 9、及び比較例 3 を示す図 1 0 におい

ては、ともに常磁性材料をファラデー回転子として用いているが、磁場変動に対して得られる光量が少ないため、光磁界センサとしては性能が劣ることがわかる。

なお、実施例 1 については円柱状のファラデー回転子の端面の直径が 1 mm、ファラデー回転子の一端面から他端面までの長さが 1 mm であるため、反磁界の影響を抑制できている。

#### 【 0 0 3 2 】

##### 【発明の効果】

以上述べたように、本願第 1 の発明である光磁界センサを用いることによって、大電流においても感度が高く、かつ 500～650 nm という可視光領域の波長を有する光を用いても感知可能な光磁界センサを得ることができる。

また、本願第 2 の発明である磁器光学センサを用いることによって、ファラデー回転子にかかる磁場が大きくなるため、さらにファラデー回転角を大きくすることができる。これにより、より高感度な光磁界センサを得ることができる。

また、本願第 3 の発明である磁器光学センサを用いることによって、ファラデー回転子の端面から端面までの長さ、すなわちファラデー回転子を通る光の移動距離が大きくなるため、ファラデー回転子のファラデー回転角を大きくすることができ、かつファラデー回転子が有する反磁界の影響を抑制することができる。これにより、さらに高感度な光磁界センサを得ることができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明にかかる一実施形態の光磁界センサの概略構成図である。

【図 2】 本発明にかかる別の実施形態の光磁界センサの概略構成図である。

【図 3】 本発明における偏光子と検光子とがなす角度と、偏光子及び検光子を通過する光量との相関図である。

【図 4】 実施例 1～3、及び比較例 1～3 における磁場－時間特性図である。

【図 5】 実施例 1 の光量－時間特性図である。

【図 6】 実施例 2 の光量－時間特性図である。

【図 7】 実施例 3 の光量－時間特性図である。

【図 8】 比較例 1 の光量－時間特性図である。

【図 9】 比較例 2 の光量－時間特性図である。

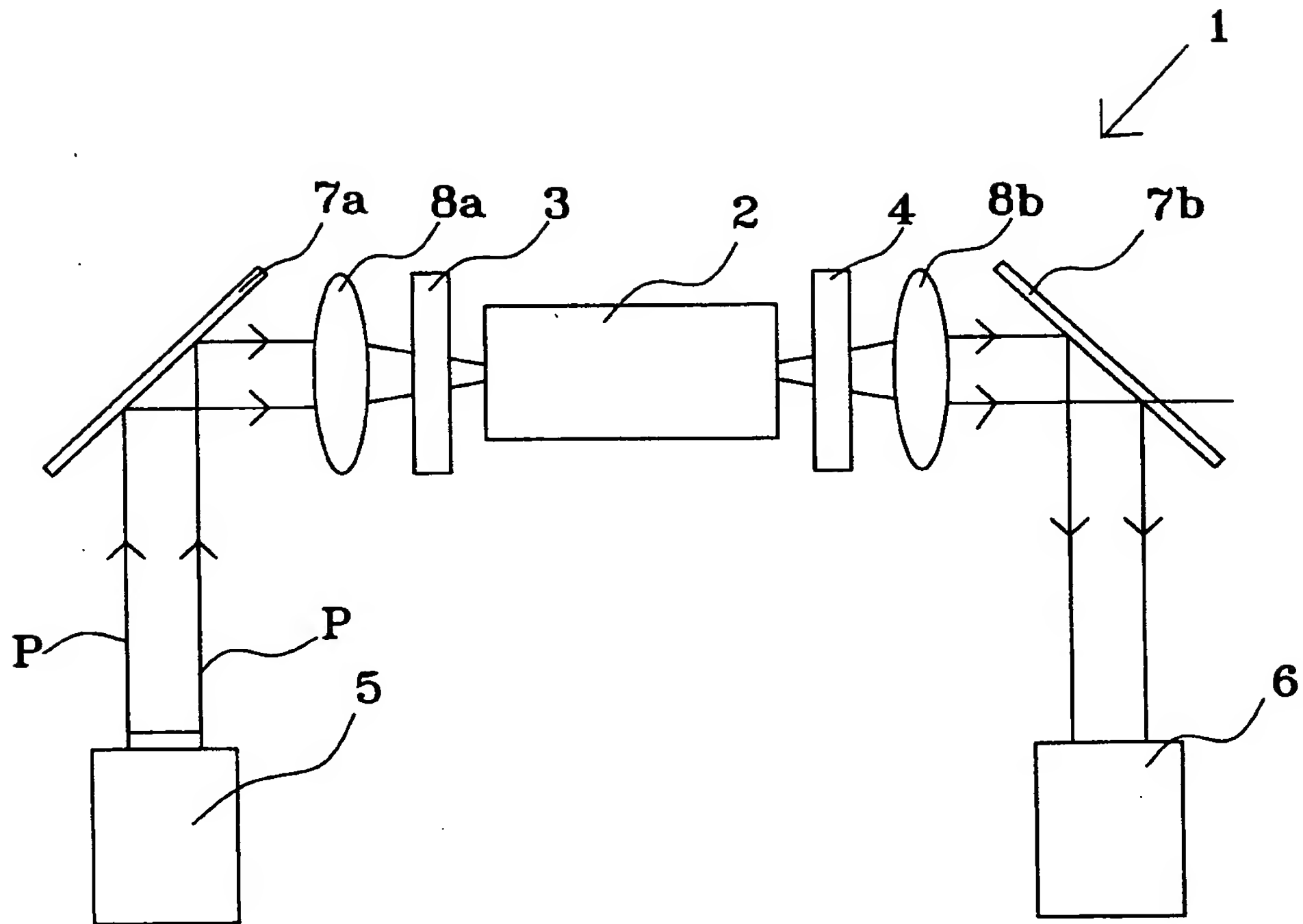
【図 1 0】 比較例 3 の光量－時間特性図である。

【符号の説明】

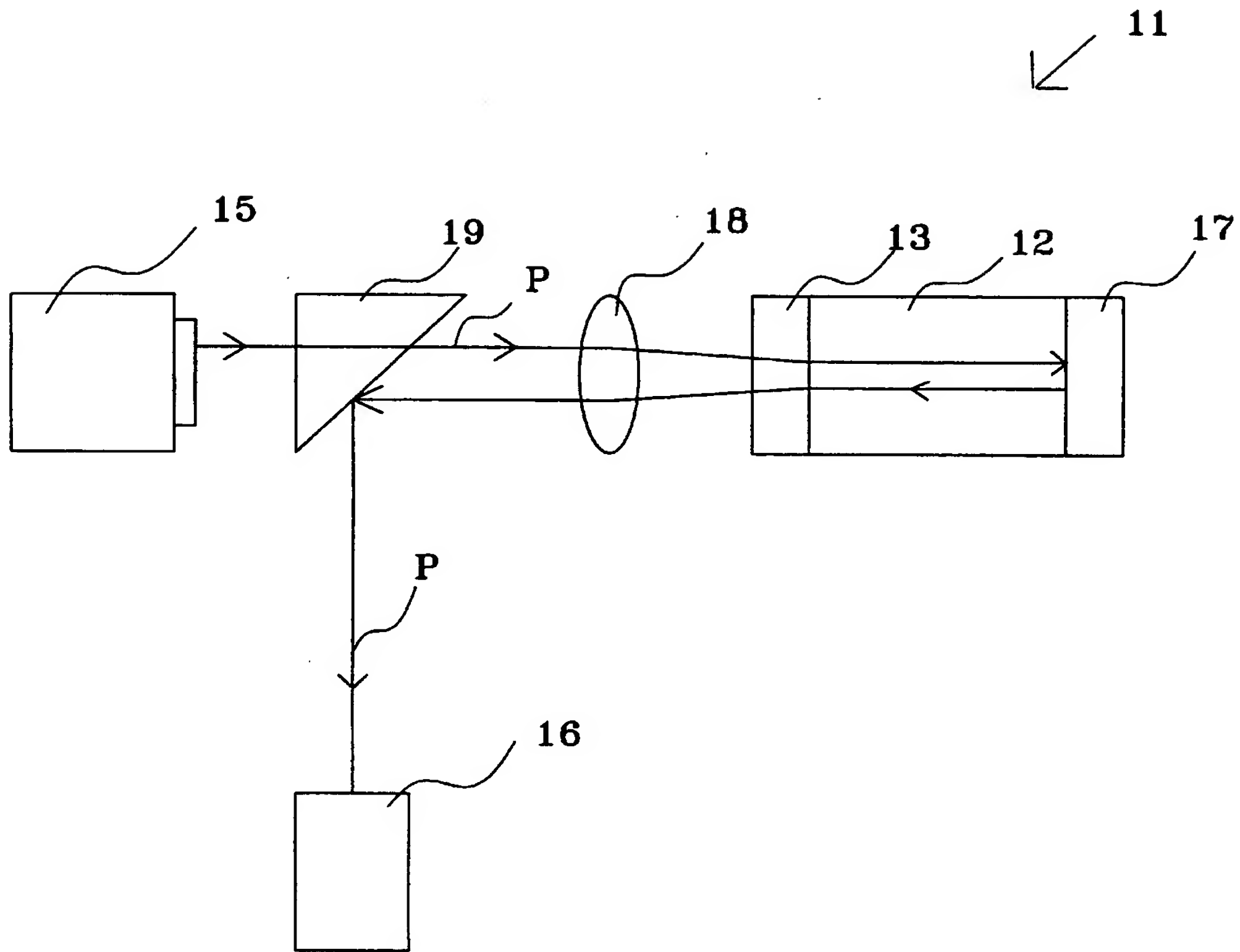
- 1 光磁界センサ
- 2 ファラデー回転子
- 3 偏光子
- 4 検光子
- 5 光照射手段
- 6 光感知手段
- 7 全反射ミラー
- 8 集光レンズ
- 1 1 光磁界センサ
- 1 2 ファラデー回転子
- 1 3 偏光子
- 1 5 光照射手段
- 1 6 光感知手段
- 1 7 全反射ミラー
- 1 8 集光レンズ
- 1 9 偏光プリズム
- P 光の通過経路

【書類名】 図面

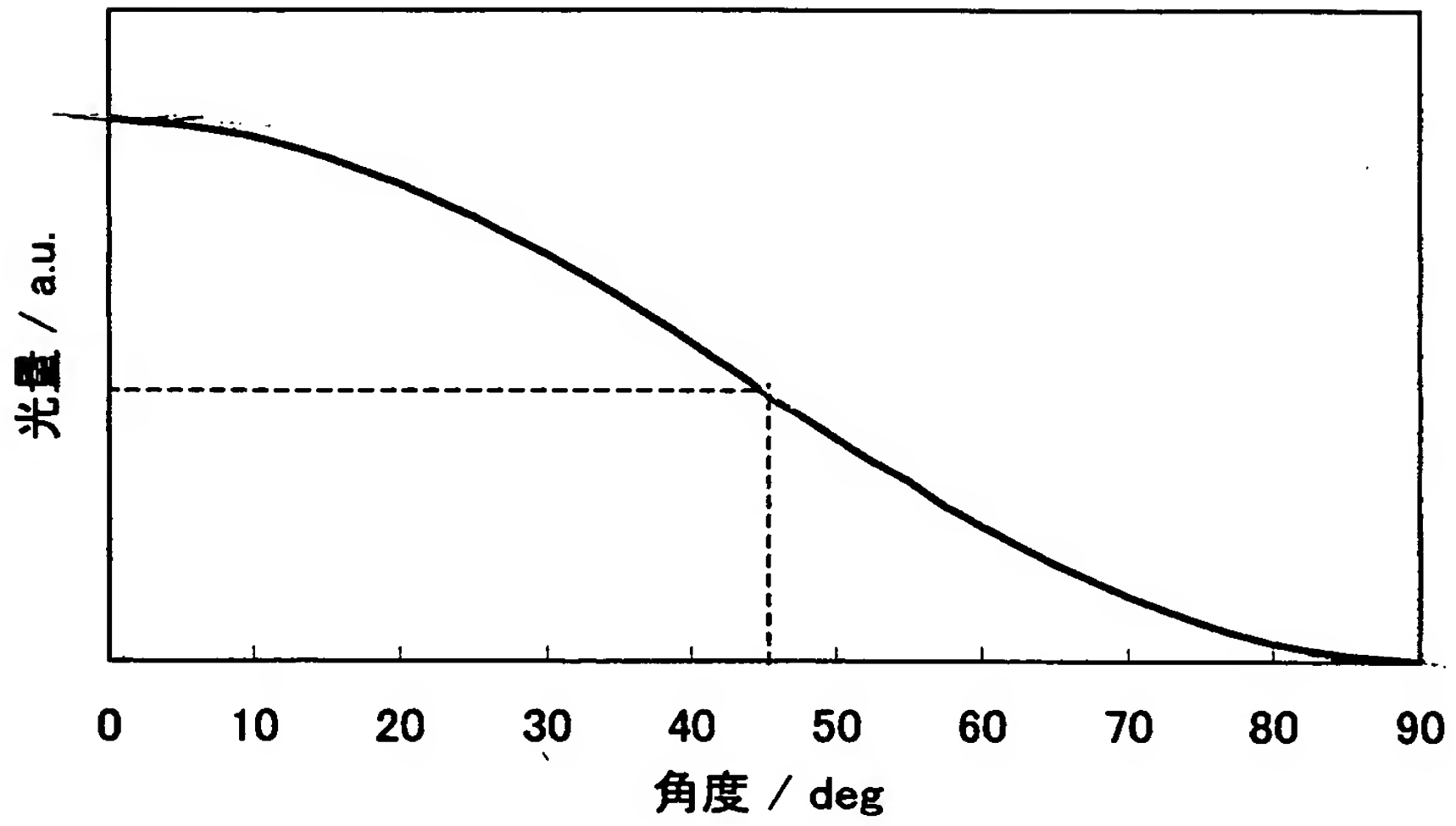
【図 1】



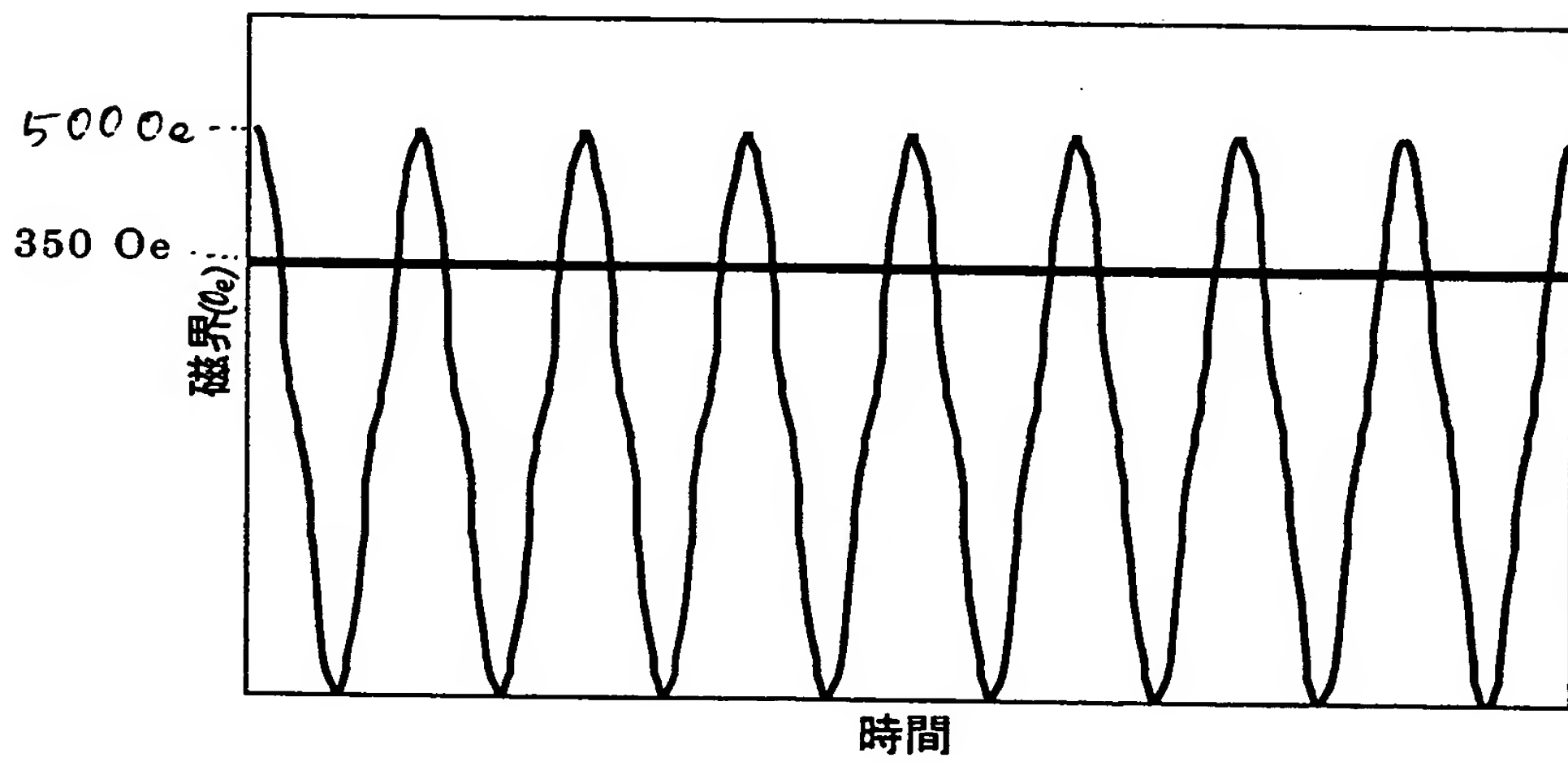
【図 2】



【図 3】

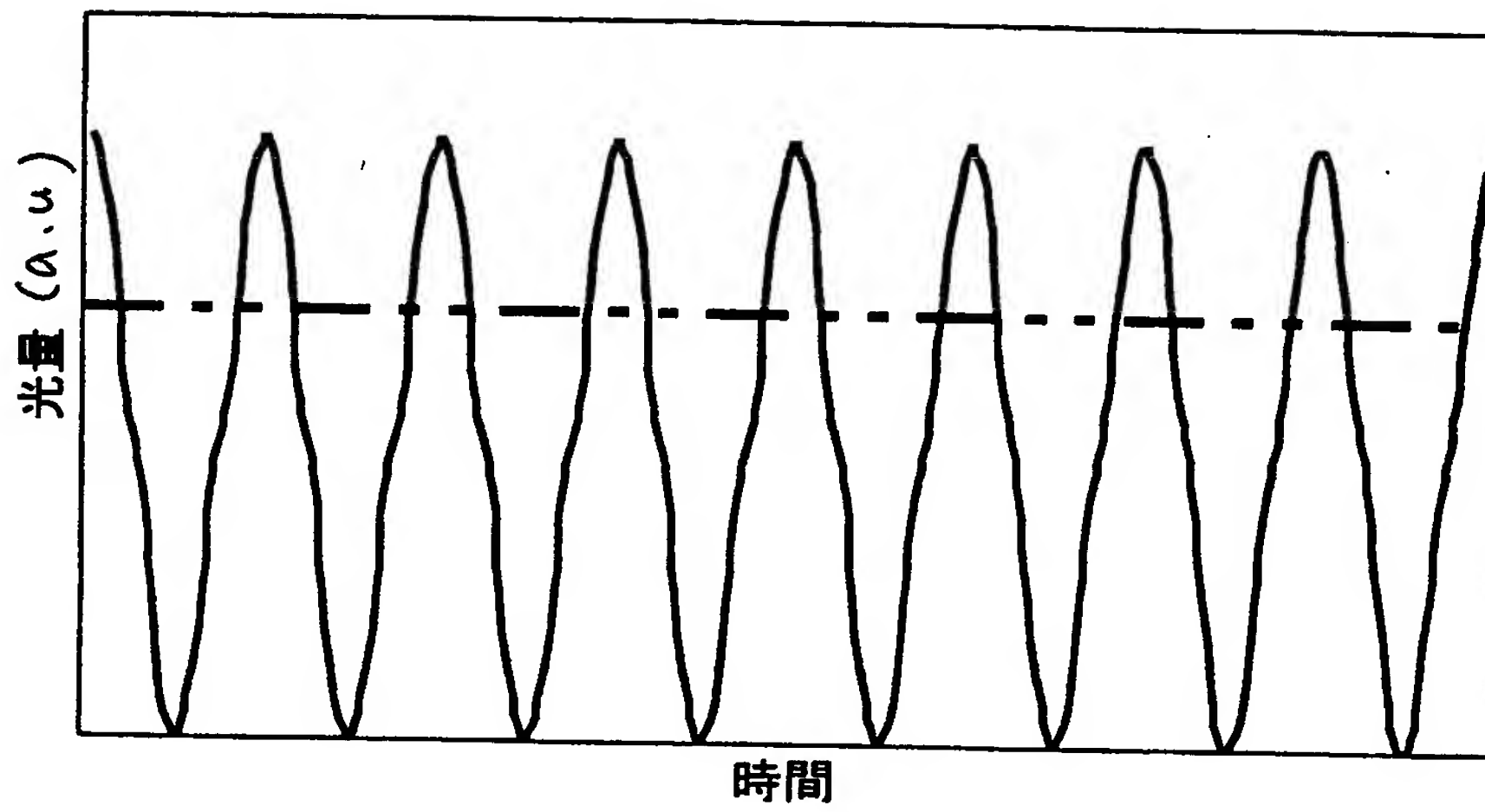


【図 4】

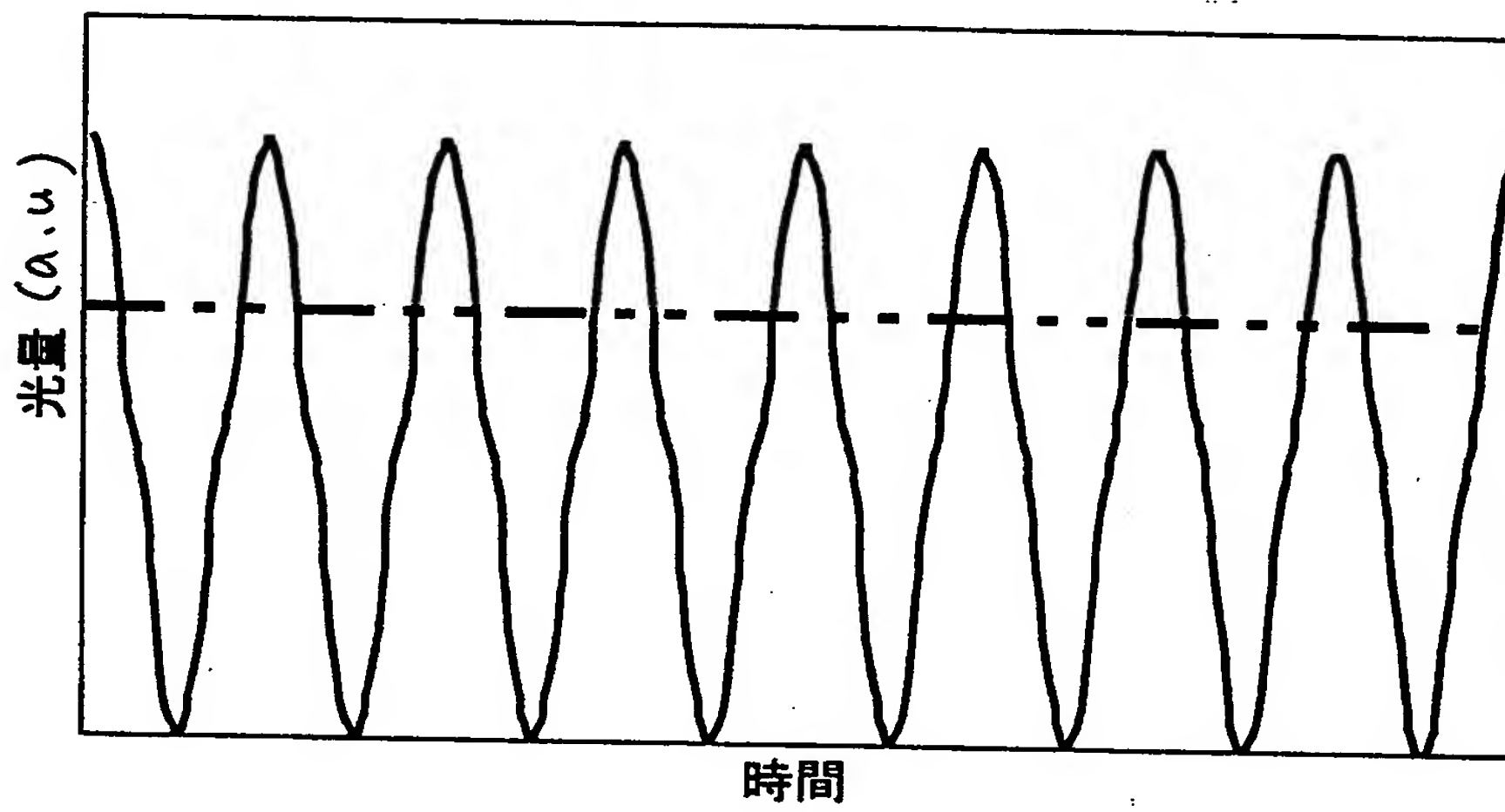




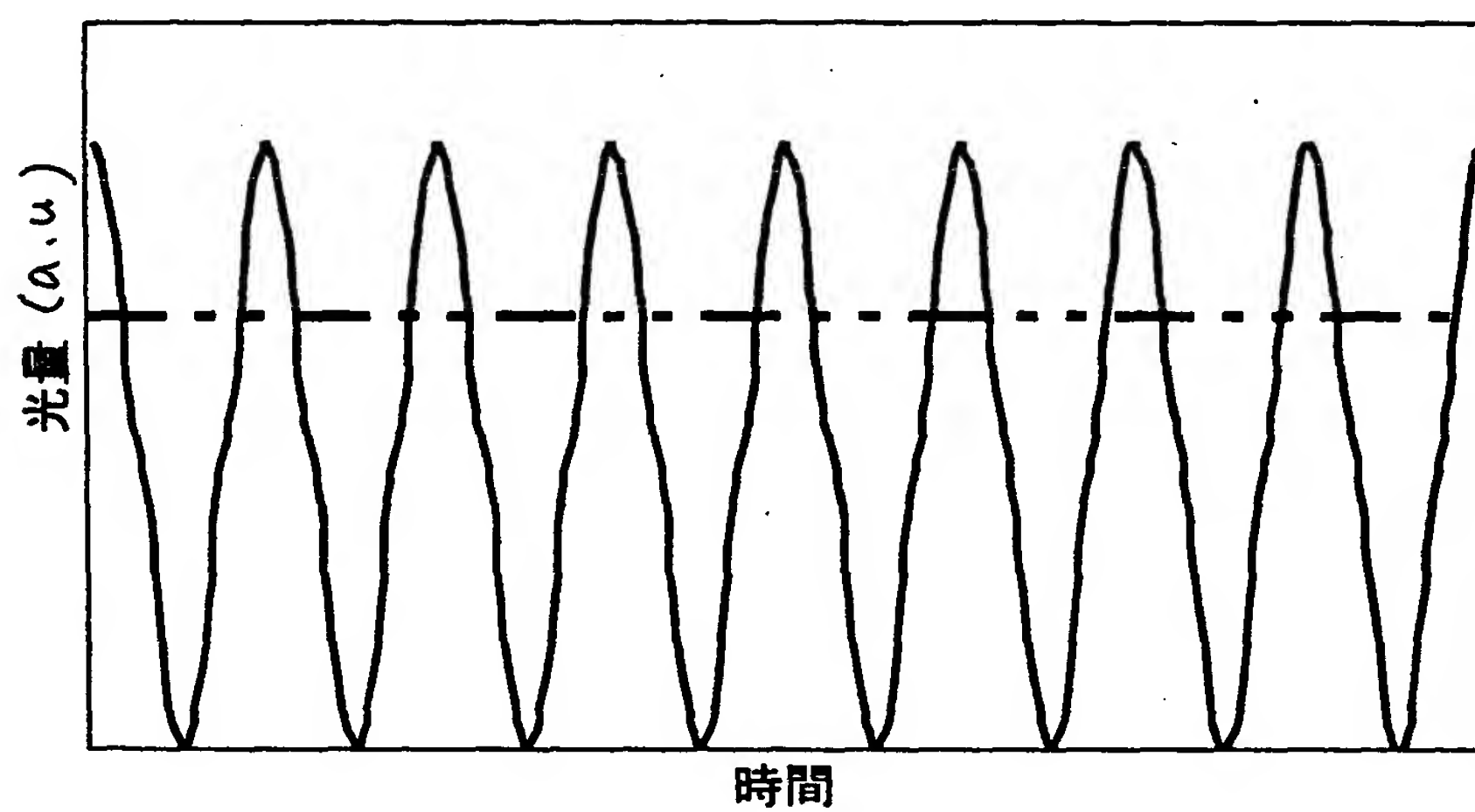
【図 5】



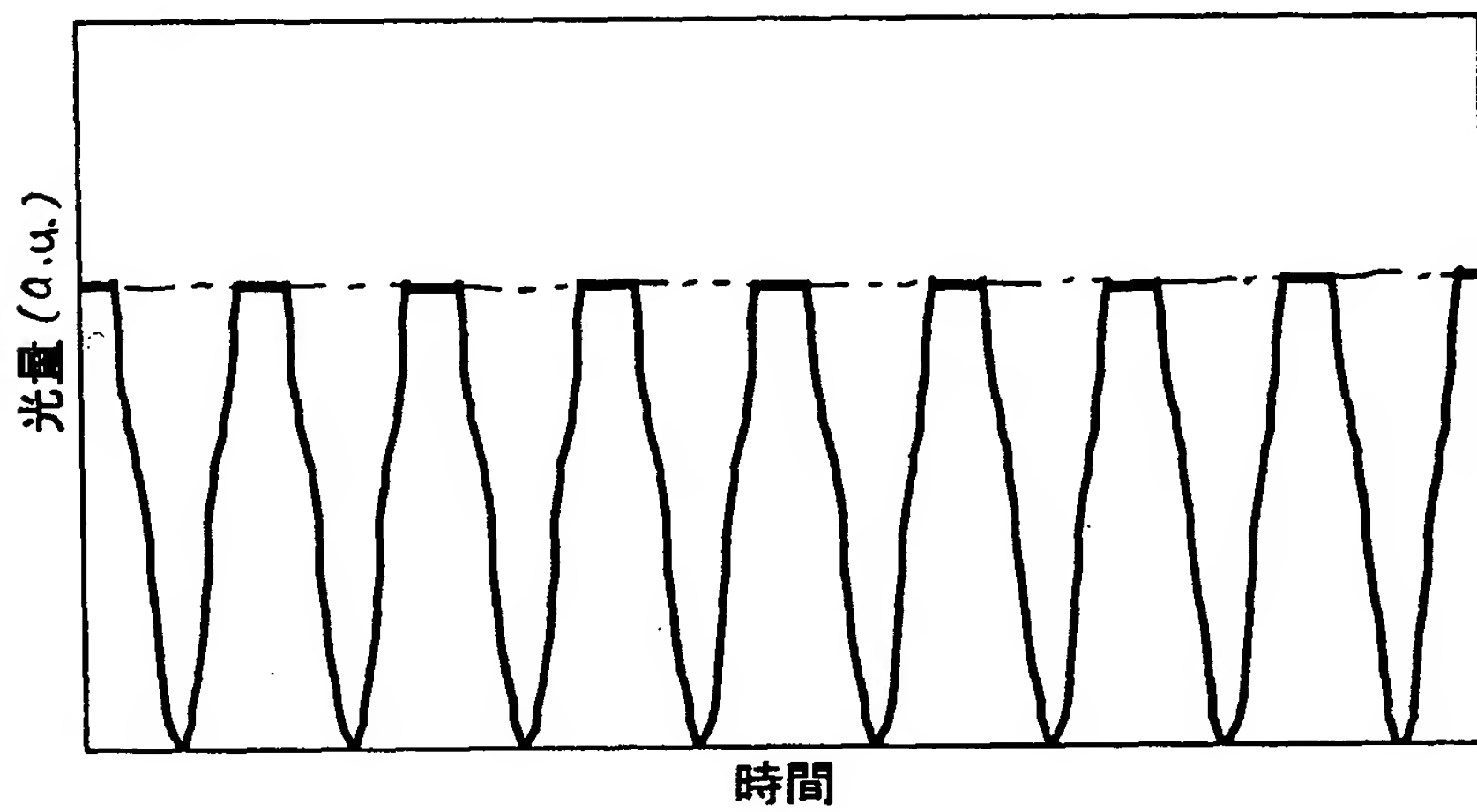
【図 6】



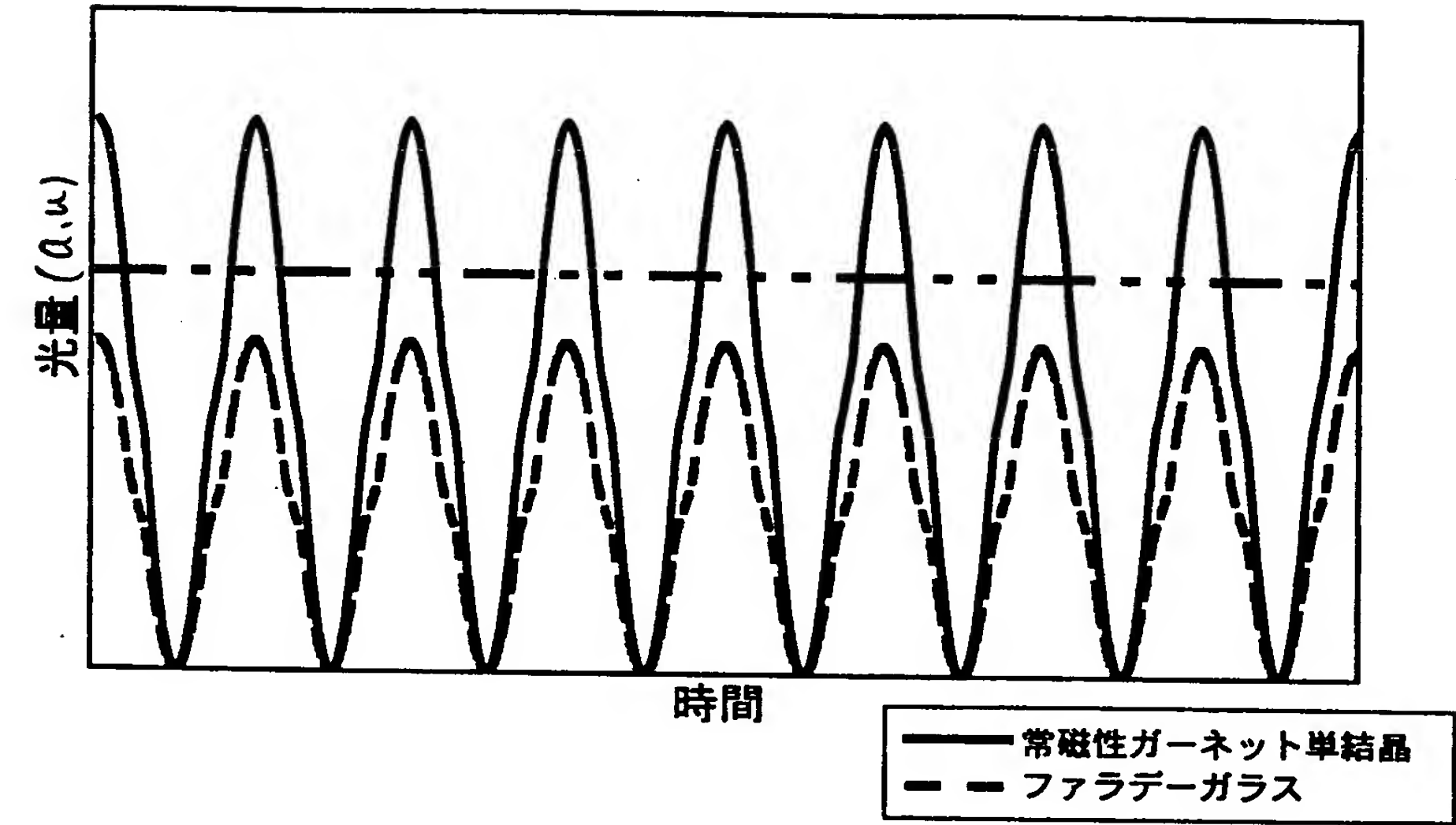
【図 7】



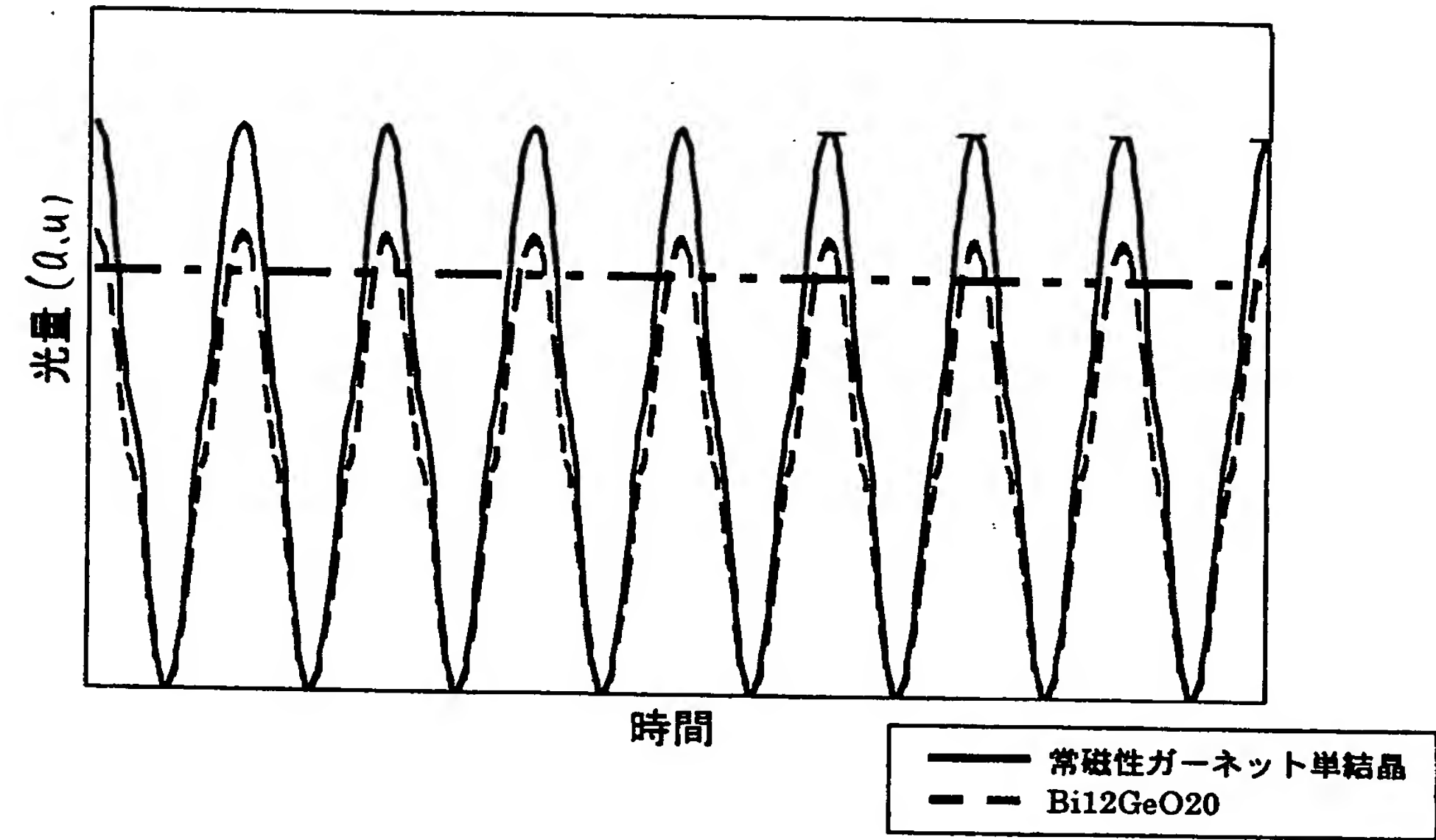
【図 8】



【図 9】



【図 1 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 大電流領域、すなわち磁界強度の高い領域においても、感度が高く、500～650nmといった可視光領域の波長を有する光を用いても感知可能な光磁界センサを提供することにある。

【解決手段】 常磁性体からなるファラデー回転子と、偏光子と、検光子と、光照射手段と、光感知手段とを具備する光磁界センサであって、前記常磁性体からなるファラデー回転子が少なくともTbとAlを含む常磁性体ガーネット単結晶からなることを特徴とする。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006231]

1. 変更年月日 1990年 8月28日

[変更理由] 新規登録

住 所 京都府長岡京市天神二丁目26番10号  
氏 名 株式会社村田製作所